

Ж. О. Абдуллаев, Е. В. Гапоненко, Е. А. Лутошкина, А. Ю. Коняев
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
zhahongirl@mail.ru

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРАХ

В статье рассмотрены характеристики линейных индукционных машин, применяемых в электродинамических сепараторах. Показаны особенности машин как объектов электроснабжения.

Ключевые слова: электродинамические сепараторы; линейные индукционные машины; электрические параметры.

Zh. O. Abdullaev, E. V. Gaponenko, E. A. Lutoshkina, A. Yu. Konyaev
Ural Federal University, Ekaterinburg

EVALUATION OF ELECTRIC PARAMETERS OF LINEAR INDUCTORS USED IN ELECTRODYNAMIC SEPARATORS

The article discusses the characteristics of linear induction machines used in eddy current separators. The features of machines as objects of power supply are shown.

Keywords: eddy current separators; linear induction machines; electrical characteristics.

Развитие промышленной переработки твердых отходов производства и потребления, которой в нашей стране начинает уделяться большое внимание, требует разработки и создания соответствующего технологического оборудования. К такому оборудованию относятся, в частности, электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем, предназначенные для

извлечения из отходов включений цветных металлов [1–2]. Наиболее широкое применение могут найти сепараторы на основе линейных индукционных машин (ЛИМ), которые легко встраиваются в готовые технологические линии, например, могут устанавливаться под лентой конвейера перемещающего отходы. Как показывает опыт разработок, такие сепараторы могут стать одним из наиболее энергоемких видов оборудования на предприятиях [2–3]. Например, один из разработанных сепараторов имел мощность около 200 кВА при том, что мощность цеховой трансформаторной подстанции составляла 500 кВА. Это обуславливает необходимость исследования сепараторов как объектов систем электроснабжения. Некоторые результаты таких исследований приводятся в докладе.

Одной из особенностей ЛИМ является несимметрия токов в фазах обмотки, занимающих различное положение на индукторе с разомкнутым магнитопроводом. Для оценки такого явления проведены экспериментальные исследования четырехполюсной ЛИМ с открытой магнитной системой. Результаты экспериментов для случая линейного напряжения источника $U_{\text{л}} = 460$ В приведены в табл. 1.

Таблица 1

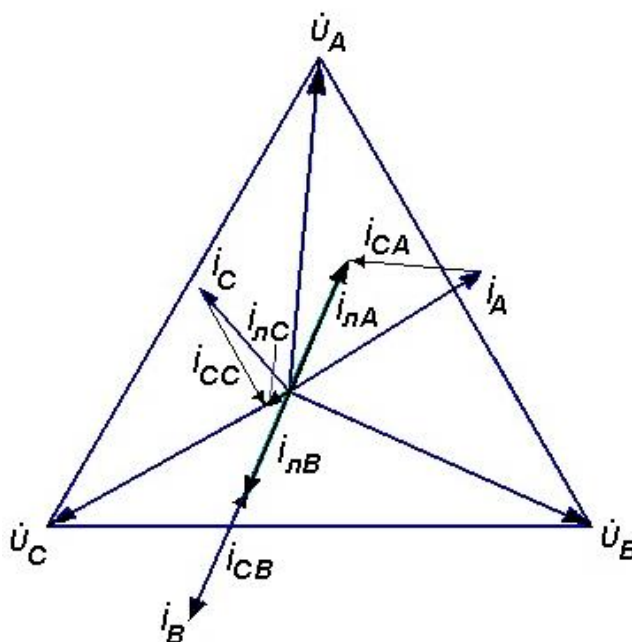
Электрические параметры экспериментальной ЛИМ

Фазы	I, А	U, В	P, Вт	cos φ, о. е.	φ, °	k_I , о. е.
А	0,64	285	110	0,627	52,9	1,109
В	0,70	280	2	0,048	89,4	1,214
С	0,39	240	19	0,219	78,3	0,676
Среднее значение	0,577	265,6	43,7	0,285	71,53	1,00

Данные, приведенные в табл. 1, подтверждают, что токи в фазах существенно отличаются. Уровень несимметрии токов можно оценить в относительных единицах с помощью коэффициента несимметрии k_I , определяемого как отношение фазного тока к среднему значению тока индуктора. В данном случае значения k_I изменяются от 0,68 до 1,21. При больших мощностях

технологических установок такая несимметрия токов ведет к увеличению потерь в системе электроснабжения и недоиспользованию трансформаторов. Можно отметить также несимметрию напряжений в фазах индуктора, обуславливающую смещение потенциала нейтральной точки обмотки. Экспериментальное значение $U_N = 26,5 \text{ В}$.

Полные данные о электрических параметрах ЛИМ, полученные экспериментально, позволяют рассчитать значения напряжений и токов в комплексной форме и построить векторную диаграмму, показанную на рисунке.



Векторная диаграмма токов и напряжений ЛИМ

Особенностью ЛИМ технологического назначения помимо несимметрии токов является также низкий уровень коэффициента мощности ($\cos \varphi$), что также приводит к дополнительным потерям в системах электроснабжения. Можно отметить, что в рассматриваемых ЛИМ угол φ для разных фаз существенно отличается. Отмеченные виды несимметрии электрических параметров ЛИМ, которые наглядно видно на векторной диаграмме, затрудняют компенсацию реактивной мощности установок электродинамической сепарации.

Для потребителей со спокойной нагрузкой, к которым можно отнести электродинамические сепараторы, для компенсации реактивной мощности целесообразно использовать конденсаторные батареи. Авторами рассмотрено три варианта подключения конденсаторов:

1) конденсаторы с емкостью фазы $C = 5$ мкФ соединены по схеме «звезда», нейтраль изолирована (или схема «треугольник» с соответствующим пересчетом емкостей);

2) те же конденсаторы соединены по схеме «звезда», нейтраль батареи конденсаторов соединена с нейтралью индуктора ЛИМ;

3) соединение конденсаторов по варианту 2 с корректировкой емкостей отдельных фаз: $C_A = 5,5$ мкФ, $C_B = 6,0$ мкФ и $C_C = 5,0$ мкФ.

Результаты расчетов системы с учетом установки конденсаторов по указанным вариантам приведены в табл. 2. Векторы токов, полученные в варианте 2, показаны на векторной диаграмме (см. рисунок).

Таблица 2

Изменение параметров ЛИМ с учетом компенсации части реактивной мощности

Вариант расчета	Фазы	Ток из сети $I_{л}, A$	$\cos \varphi$, о. е.	k_I , о. е.
1	A	0,353		1,374
	B	0,292		1,136
	C	0,127		0,494
	среднее значение	0,257	0,640	1,00
2	A	0,391		1,609
	B	0,260		1,07
	C	0,079		0,325
	среднее значение	0,243	0,677	1,00
3	A	0,386		1,678
	B	0,172		0,978
	C	0,079		0,345
	среднее значение	0,212	0,775	1,00

Как видно из табл. 2 и рисунка, установка конденсаторов не позволяет существенно увеличить $\cos \varphi$. В то же время уровень несимметрии фазных токов возрастает. Вопрос требует дополнительного изучения.

Список использованных источников

1. Wilson R. J., Veasey T. J., Squires D. M. Application of mineral processing techniques for the recovery of metal from post-consumer wastes // Minerals Engineering. 1994. № 7. P. 975–984.
2. Коняев А. Ю., Абдуллаев Ж. О., Коняев И. А. Сепараторы для извлечения цветных металлов из твердых коммунальных отходов // Твердые бытовые отходы. 2017. № 3. С. 36–39.
3. Коняев А. Ю., Коняев И. А., Назаров С. Л. Повышение энергоэффективности электродинамических сепараторов на стадии проектирования // Промышленная энергетика. 2014. № 4. С. 22–26.